

(51)Int.Cl.'

G 21 F 3/00
G 21 C 19/32
G 21 F 1/10
5/008

識別記号

F I

G 21 F 3/00
G 21 C 19/32
G 21 F 1/10
5/00

テーマコード(参考)

N
T
F

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21)出願番号

特願平11-291664

(22)出願日

平成11年10月13日 (1999.10.13)

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72)発明者 二瓶 潔

神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(72)発明者 名島 憲治

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工業株式会社高砂研究所内

(74)代理人 100089118

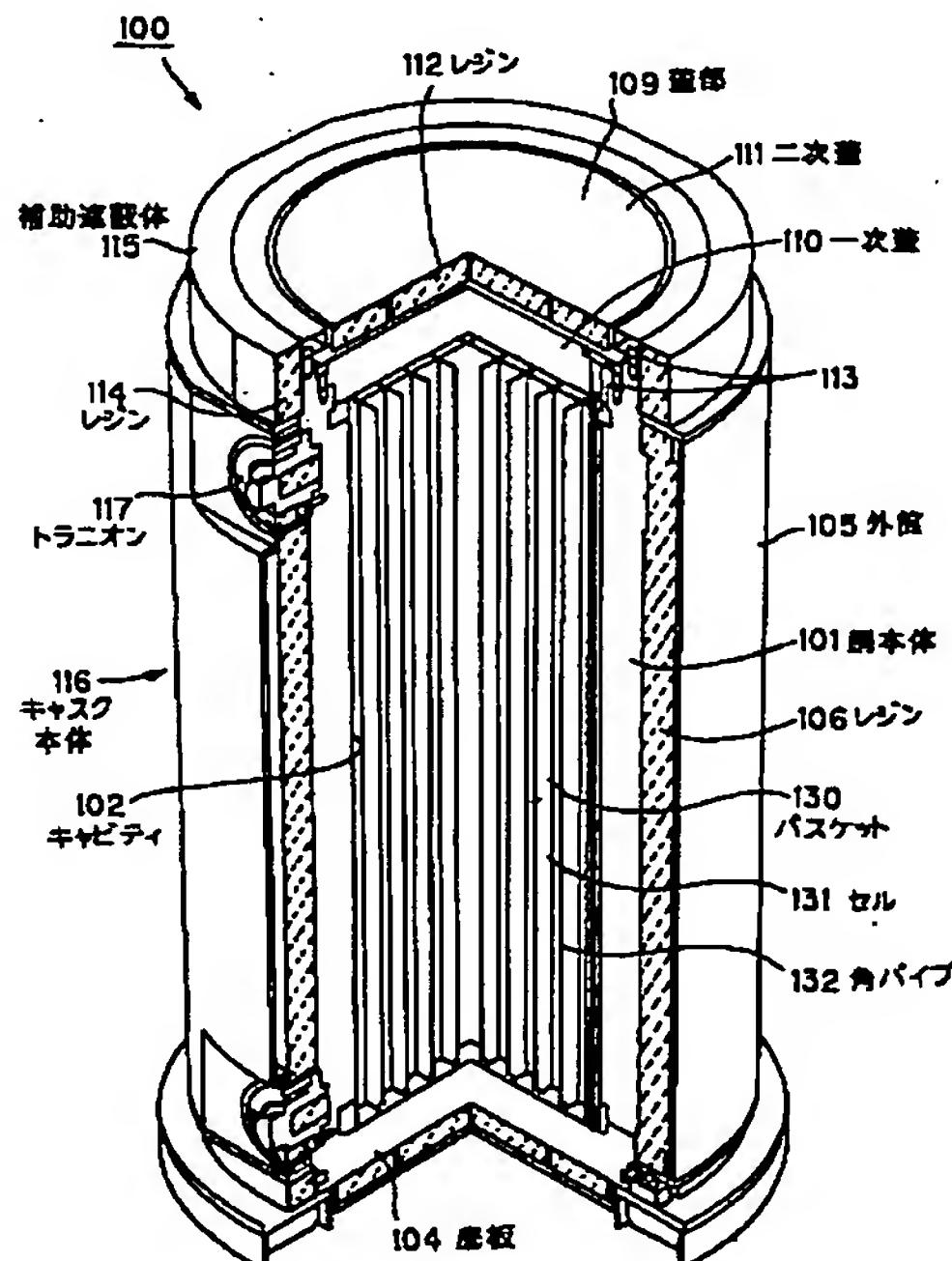
弁理士 酒井 宏明 (外1名)

(54)【発明の名称】 中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスク

(57)【要約】

【課題】 中性子遮蔽体形成時の低粘度化による作業効率の向上を実現するとともに、中性子遮蔽体形成後の長期間にわたる高温環境下においても耐熱性と中性子遮蔽能とを与える水素含有率とを保持すること。

【解決手段】 反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤とし、脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミンおよびエポキシアダクトの配合を該二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキシ樹脂、不純物であるソーダ分が0.07重量%以下である高純度の水酸化アルミニウム、および炭化硼素を配合して形成した中性子遮蔽体をキャスク100のレジン106, 112, 114, 116として用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 不純物であるソーダ分が0.1重量%以下である高純度の水酸化アルミニウムを配合して形成したことを特徴とする中性子遮蔽体。

【請求項2】 前記ソーダ分は、0.07重量%以下であることを特徴とする請求項1に記載の中性子遮蔽体。

【請求項3】 水酸化マグネシウムを配合して形成したことを特徴とする中性子遮蔽体。

【請求項4】 反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤とし、脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミンおよびエポキシアダクトの配合を該二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を用いて形成したことを特徴とする中性子遮蔽体。

【請求項5】 不純物であるソーダ分が0.1重量%以下である高純度の水酸化アルミニウムを配合して形成した中性子遮蔽体を用いたことを特徴とするキャスク。

【請求項6】 前記ソーダ分は、0.07重量%以下であることを特徴とする請求項5に記載のキャスク。

【請求項7】 水酸化マグネシウムを配合して形成した中性子遮蔽体を用いたことを特徴とするキャスク。

【請求項8】 反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤とし、脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミンおよびエポキシアダクトの配合を該二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を用いて形成したことを特徴とする中性子遮蔽体を用いたことを特徴とするキャスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスクに関し、特に未硬化状態において粘土を低くし、十分なポットライフ（可使時間）を確保して作業性を向上させることができるとともに、優れた耐熱性、中性子遮蔽能を保持することができる中性子遮蔽体、およびこれを用いて、燃焼を終えた使用済み核燃料集合体を収容、貯蔵するキャスクに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年の原子力産業の発展に伴い、各種の原子力施設、たとえば原子炉、核燃料再処理工場などが各地に建設されているが、これら各種の原子力施設などでは、人体が受ける放射線の量を極力低減し、また放射線による構造材や機器材料が損傷しないようにしなければならない。すなわち、各種の原子力施設などの核燃料あるいは使用済み核燃料から発生する中性子は、エネルギーが高く、強い透過力を有し、他の物質と衝突するとγ線を発生し、人体に重大な障害を与え、また、原子力施設などの各種材料を損傷させることから、この中性子を安全確実に遮蔽することができる中性子遮蔽体の開発

が継続して行われている。

【0003】従来、中性子遮蔽体としては、コンクリートが用いられていたが、このコンクリートは、遮蔽壁としては相当の厚みを必要とし、原子力船のように、重量および容積に制限のある原子力施設では不適な中性子遮蔽体であり、中性子遮蔽体の軽量化が望まれていた。

【0004】ここで、中性子のうちの高速中性子は、ほぼ同じ質量の水素元素と衝突することによってエネルギーが吸収され、効果的に減速されるので、水素密度の高い、すなわち水素含有率の高い物質が高速中性子の遮蔽に有効であり、水、パラフィン、ポリエチレンなどを中性子遮蔽体として用いることができる。この水などの液体は、コンクリートに比べて軽量であるが、液体であるために取り扱いが限定され、さらには、この水などの液体を収納する容器自体の材質の中性子遮蔽能が問題となる。

【0005】一方、軽量で水素含有率の高く、中性子の減速材としての効果が大きいパラフィン、ポリエチレンなどのポリオレフィン系熱可塑性樹脂、不飽和ポリエステル樹脂などの熱硬化性樹脂、ポリメタクリル酸などそれ自体、これらの混合物、または低速および熱中性子に対して大きな吸収断面積を有することが知られている硼素化合物をこれらに配合した硼素化合物含有パラフィン、硼素化合物含有ポリエチレン、硼素化合物含有ポリメタクリル酸エステルなどによって形成される中性子遮蔽体が提案されている。

【0006】近年では、エポキシ樹脂に耐火材として大量の水酸化アルミニウムと中性子遮蔽材として微量の炭化硼素とを配合した中性子遮蔽体がある。このエポキシ樹脂は、一般的に主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂が用いられ、主剤としては、エポキシ当量が184～194、分子量が380程度のビスフェノールA型主剤（水素含有量=7.1重量%）が用いられ、硬化剤としては、脂肪族ポリアミン系、脂環式ポリアミン、ポリアミドアミン、エポキサイドアダクト系単体またはこれらの混合物が用いられる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を配合した中性子遮蔽体を形成する場合、エポキシ樹脂主剤、硬化剤、水酸化アルミニウム、および炭化硼素が十分に均質となる中性子遮蔽体とすべく、少量単位で、かつ30分程度の長時間の混練・充填作業を行っていた。この場合、混練された中性子遮蔽体は、硬化剤を含むため、迅速に鉄込まないと固化してしまい、かつ粘性が高いので作業効率が悪いという問題点があった。すなわち、高い粘性であるがゆえに、鉄込み時におけるホース内の流動性が悪く、単位時間当たりの鉄込み量が減少することに加え、少量単位で混練を行うために、大型の中性子遮蔽体を製造する場合、鉄込み中の中断回数が

増大し、全体の鋳込み時間に多大の時間と労力とがかかることとなる。

【0008】なお、上述した二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を配合した中性子遮蔽体の可使時間は、混練時間の経過とともに変化するものの、一般に混練時における初期温度が30℃程度のとき2時間程度である。この2時間には、混練・充填作業にかかる時間、たとえば上述した30分の時間も含まれ、粘性の低下による混練・充填作業時間の短縮も要望される。ここで、可使時間とは、中性子遮蔽体が、混練による流動状態から鋳込みに必要な最低限の流動性を残す状態までの時間をいう。

【0009】一方、上述した中性子遮蔽体に含まれる水酸化アルミニウムは、水素含有率が高く、難燃性と中性子遮蔽能とを与えるものであるが、高温環境下に長時間さらされると、水素含有率が徐々に減少するという問題点があった。

【0010】この発明は上記に鑑みてなされたもので、中性子遮蔽体形成時の低粘度化による作業効率の向上を実現するとともに、中性子遮蔽体形成後の長期間にわたる高温環境下においても耐熱性と中性子遮蔽能とを与える水素含有率とを保持することができる中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスクを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1にかかる中性子遮蔽体は、不純物であるソーダ分が0.1重量%以下である高純度の水酸化アルミニウムを配合して形成したことを特徴とする。

【0012】この発明によれば、水酸化アルミニウムは、精製時に不純物としてソーダ分が含まれる。このソーダ分が高くなるにしたがって、高温時においても水酸化アルミニウムに含まれる結晶水中の水分の一部を熱分解して放出する傾向が大きくなることに着目し、水酸化アルミニウムの不純物としてのソーダ分を0.1重量%以下とすることによって、150℃近傍の高温状態に至るまで、水分の一部を熱分解せずに水素含有量を保持することができ、これによって、高温時においても水酸化アルミニウムの水素含有率を減少させずに保持することができる。

【0013】また、請求項2にかかる中性子遮蔽体は、上述した発明において、前記ソーダ分は、0.07重量%以下であることを特徴とする。

【0014】この発明によれば、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分が0.07重量%以下の場合、具体的に中性子遮蔽体が長期間150～160℃の状態であっても、水酸化アルミニウムの水分が熱分解による減損量が殆どなく、中性子遮蔽体は、水素含有率を保持することができる。

【0015】また、請求項3にかかる中性子遮蔽体は、水酸化マグネシウムを配合して形成したことを特徴とす

る。

【0016】この発明によれば、一般に用いられる水酸化アルミニウムの高温時に多量の水分放出が起こる熱分解温度は、245～320℃であるが、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度は、340～390℃であるため、この水酸化マグネシウムを中性子遮蔽体を組成する耐火材として一部あるいは全部に用いることにより、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高められる。

【0017】また、請求項4にかかる中性子遮蔽体は、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂（DGEBA）を主剤とし、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等の硬化剤配合による二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を用いて形成したことを特徴とする。

【0018】この発明によれば、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤として用いることによって、具体的に20～25ポイズ程度に低粘度とすることができる、作業性を向上させることができるとともに、主剤の水素含有量を増加、具体的に7.5～8.5重量%まで増加することができる。この主剤を用いた場合、硬化剤として柔軟な材料を選択することができ、可使時間に影響を及ぼす硬化剤として、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等、単体または二種以上組み合わせた配合硬化剤を利用することによって、十分な可使時間を確保できるとともに、硬化時における活性水素の量を多くすることができ、特に脂環式ポリアミンによって耐熱性をさらに高めた2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を実現することができる。この可使時間は、たとえば、この2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含む中性子遮蔽材を混練する際の温度が30℃近傍である場合には、具体的に3～3.5時間程度の長い可使時間を確保することができ、鋳込み可能時間が増大するとともに、中性子遮蔽材の大量混練を可能とし、大きな中性子遮蔽体の形成時における中断回数を減少させ、中性子遮蔽体の形成にかかる時間と労力とを格段に軽減することができる。

【0019】また、請求項5にかかるキャスクは、不純物であるソーダ分が0.1重量%以下である高純度の水酸化アルミニウムを配合して形成した中性子遮蔽体を用いたことを特徴とする。

【0020】この発明によれば、水酸化アルミニウムは、精製時に不純物としてソーダ分が含まれる。このソーダ分が低くなるにしたがって、高温時においても水酸化アルミニウムに含まれる結晶水中の水分の一部を熱分解して放出しない傾向があることに着目し、水酸化アルミニウムの不純物としてのソーダ分を0.1重量%以下とすることによって、150℃程近傍の高温状態に至るまで、水分等の熱重量減損が少なく水素含有量を保持す

ることができ、これによって、高温時においても水酸化アルミニウムの水素含有率を減少させずに保持することができる。

【0021】また、請求項6にかかるキャスクは、上述した発明において、前記ソーダ分は、0.07重量%以下であることを特徴とする。

【0022】この発明によれば、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分が0.07重量%以下の場合、具体的に中性子遮蔽体が長期間150～160℃の状態であっても、水酸化アルミニウムの結晶水中の水分の熱重量減損がほとんどなく、中性子遮蔽体は、水素含有率を保持することができる。

【0023】また、請求項7にかかるキャスクは、水酸化マグネシウムを配合して形成した中性子遮蔽体を用いたことを特徴とする。

【0024】この発明によれば、一般に用いられる水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度は、245～320℃であるが、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度は、340～390℃であるため、この水酸化マグネシウムを、中性子遮蔽体を組成する耐火材として一部あるいは全部に用いることにより、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高められる。

【0025】また、請求項8にかかるキャスクは、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤とし、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等の硬化剤による二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を用いて形成した中性子遮蔽体を用いたことを特徴とする。

【0026】この発明によれば、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤として用いることによって、具体的に20～25ポイズ程度に低粘度とすることことができ、作業性を向上させることができるとともに、主剤の水素含有量を増加、具体的に7.5～8.5重量%まで増加することができる。この主剤を用いた場合、硬化剤として柔軟な材料を選択することができ、かつ可使時間に影響を及ぼす硬化剤として、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等の配合剤を用いること、十分な可使時間を確保できるとともに、硬化時における活性水素の量を多くすることができ、特に脂環式ポリアミンによって耐熱性をさらに高めた2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を実現することができる。この可使時間は、たとえば、この2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含む中性子遮蔽材を混練する際の温度が30℃近傍である場合には、具体的に3～3.5時間程度の長い可使時間を確保することができ、鉄込み可能時間が増大するとともに、中性子遮蔽材の大量混練を可能とし、大きな中性子遮蔽体の形成時における中断回数を減少させ、中性子遮蔽体の形成にかかる時間と労力とを格段に軽減することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、この発明にかかる中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスクの好適な実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0028】(実施の形態1) まず、この発明が適用される中性子遮蔽体について説明する。この実施の形態1における中性子遮蔽体は、主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムと、炭化硼素とを混合したものである。二液反応常温硬化型エポキシ樹脂とは、文字どおり、主剤と硬化剤とが混合されることによって常温で硬化するエポキシ樹脂である。水酸化アルミニウムは、大量に配合され、水素含有率が大きく、耐火材と中性子遮蔽材としての機能を有する。また、炭化硼素は、微量に配合され、中性子の減速および吸収材としての機能を有する。

【0029】二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の主剤としては、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を用いる。この反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂は、ビスフェノールA型のエポキシ当量(=184～194)とほぼ同じエポキシ当量を有するが、ビスフェノールA型の粘度(=120ポイズ)に比べ粘度が20～25ポイズ程度であり、低粘度化を実現する。また、この反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂の水素含有率は7.6重量%であり、ビスフェノールA型の水素含有率7.1重量%に比べて大きな値をもつ。

【0030】したがって、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の主剤として用いることによって、その低粘度化による常温近傍における作業効率を向上させることができ。すなわち、混練にかかる時間を短縮することによって可使時間を稼ぐことができ、大量混練を可能とすることから、大型の中性子遮蔽体製造時における中断時間が少なくなり、各回の鉄込み作業自体にかかる時間も、その流動性から短縮され、全体的な作業効率を大幅に向上させることができる。

【0031】また、この反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂は、水素含有率が高いため、耐熱性および中性子遮蔽能を一層増大させることができる。

【0032】一方、二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の主剤として、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を用いると、これに対応する二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の硬化剤としての選択幅は広がり、耐熱性や硬化反応速度を考慮した材料を柔軟に選択することができる。ここでは、脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミン、およびエポキシアダクトを配合した硬化剤を用いる。具体的な配合割合は、たとえば脂環式ポリアミンを30重量%、ポリアミド脂肪族

ポリアミンを20重量%、エポキシアダクトを50重量%としている。

【0033】この硬化剤の配合選択によって、アミン系の硬化剤との硬化反応速度を遅くすることができ、十分な可使時間を確保することができる。たとえば、混練時における初期温度を30℃一定に保つことによって、可使時間を3~3.5時間に向上させることができる。この結果、上述した主剤の低粘度に加えて作業性が一層向上することになる。また、選択された脂環式ポリアミンは、耐熱性が高いため、水酸化アルミニウムの耐火性能を向上させることになる。さらに、この選択された配合の硬化剤の水素含有率は、12±0.5重量%を確保することができるため、上述した主剤と相まって高い水素含有率を十分に確保することができる。

【0034】なお、中性子遮蔽体に微量に配合される炭化硼素は、中性子吸収能を有するものであればよく、低速および熱中性子に対して大きな吸収断面積を有する窒化硼素、無水硼酸、硼素鉄、正硼酸、あるいはメタ硼酸などの無機硼素化合物を配合するようにしてもよいが、炭化硼素が特に好ましい。

【0035】(実施の形態2) つぎに、この実施の形態2について説明する。上述した実施の形態1の中性子遮蔽体では、主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムと、炭化硼素とによって構成されているが、この多量に配合される水酸化アルミニウムは、高温環境下において水素含有率が低下することが知られていた。水素含有率の低下は、中性子遮蔽体としての耐熱性および中性子遮蔽能に影響を及ぼす。この水酸化アルミニウムの水素含有率低下は、高温環境下において水酸化アルミニウムの一部の水分が熱分解していることによって生じるものである。

【0036】そこで、高純度の水酸化アルミニウムを中性子遮蔽体に配合したところ、水酸化アルミニウム精製時に含まれるソーダ(Na_2O)分を低くすることによって、熱分解による水酸化アルミニウムの一部の水分放出が高温域まで抑えられる傾向があることを実験的に確認することができた。

【0037】一般に水酸化アルミニウムが水分の放出開始を行う脱水分熱分解温度は、245~320℃であるが、水酸化アルミニウム精製時に含まれるソーダ分を少なくすることによって、この温度領域まで水素含有率を保持できるものと考えられる。

【0038】水酸化アルミニウムの高純度化は、ポーキサイトからの精製時において、十分に時間をかけて水酸化アルミニウムを析出することによって可能である。一般に市販の水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分は、0.2~0.3重量%であり、この場合、水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度は120℃以上であるが、ソーダ分を0.1重量%とすることによって水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度を150℃近傍以上まで保持

することができた。とくに、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分を0.07重量%以下とすることによって、150~160℃まで脱水による熱重量減損を抑えることができた。このソーダ分が0.07重量%以下の水酸化アルミニウムの精製には、上述した析出時間をかけるほかに、たとえば市販の水酸化アルミニウムを水洗いすることによって容易に得ることができる。

【0039】この高純度の水酸化アルミニウムを中性子遮蔽体に配合することによって、高温環境下においても水素含有率を保持することができる。特に、0.07重量%以下の低ソーダ分とすることによって、150~160℃以上まで水素含有率を保持することができる。この150~160℃までの水素含有率の保持は、後述するキャスクに用いられる中性子遮蔽体として十分なものである。

【0040】なお、この実施の形態2では、高純度の水酸化アルミニウムが配合される中性子遮蔽体を、実施の形態1で説明した中性子遮蔽体に用いされることを前提として説明したが、水酸化アルミニウムが配合される中性子遮蔽体に共通して適用されるものである。

【0041】(実施の形態3) つぎに、実施の形態3について説明する。上述した実施の形態1の中性子遮蔽体では、主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムと、炭化硼素とによって構成されているが、一般に水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度は、245~320℃であり、この温度以下の領域における水素含有率を保持したい場合がある。

【0042】ここで、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度は、340~390℃であるため、この水酸化マグネシウムを中性子遮蔽体を組成する耐火材として用いることによって、一層、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高めることができる。

【0043】なお、この実施の形態3では、実施の形態1で説明した中性子遮蔽体に配合される水酸化アルミニウムに代えて水酸化マグネシウムを用いることを前提として説明したが、この水酸化マグネシウムの配合は、中性子遮蔽体に共通して適用されるものである。

【0044】さらに、この実施の形態3では、水酸化アルミニウムに代えて水酸化マグネシウムを適用するものとして説明したが、水酸化アルミニウムの一部を水酸化マグネシウムに代えるようにしてもよい。

【0045】(実施の形態4) つぎに、実施の形態4について説明する。この実施の形態4では、上述した実施の形態1~3で説明した中性子遮蔽体をキャスクの中性子遮蔽体として適用するものである。なお、キャスクは、燃焼を終えた使用済み核燃料集合体を収容、貯蔵する容器である。核燃料サイクルの終期にあって燃焼を終え使用できなくなった核燃料集合体を、使用済み核燃料という。使用済み核燃料は、FPなど高放射能物質を含

るので熱的に冷却する必要があるから、原子力発電所の冷却ピットで所定期間（3～6ヶ月間）冷却される。その後、遮蔽容器であるキャスクに収納され、トラックや船舶等で再処理施設に搬送、貯蔵される。

【0046】図1は、キャスクを示す斜視図である。図2は、図1に示したキャスクの軸方向断面図である。図3は、図1に示したキャスクの径方向断面図である。キャスク100は、胴本体101のキャビティ102内面をバスケット130の外周形状に合わせて機械加工したものである。キャビティ102内面の機械加工は、専用の加工装置によってフライス等によって加工する。胴本体101および底板104は、 γ 線遮蔽機能を有する炭素鋼製の鍛造品である。なお、炭素鋼の代わりにステンレス鋼を用いることもできる。胴本体101と底板104は、溶接によって結合する。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するため、一次蓋110と胴本体101との間には金属ガスケットを設けておく。

【0047】胴本体101と外筒105との間には、水素を多く含有する高分子材料であって中性子遮蔽機能を有するレジン106、すなわち上述した中性子遮蔽体が充填されている。また、胴本体101と外筒105との間には、熱伝導を行う複数の銅製内部フィン107が溶接されており、レジン106は、内部フィン107によって形成される空間に流動状態で図示しないパイプ等を介して注入され、冷却固化される。なお、内部フィン107は、放熱を均一に行うため、熱量の多い部分に高い密度で設けるようにするのが好ましい。また、レジン106と外筒105との間には、数mmの熱膨張しろ108が設けられる。熱膨張しろ108は、ホットメルト接着剤等にヒーターを埋め込んだ消失型を外筒105内面に配し、レジン106を注入固化した後、ヒーターを加熱して溶融排出することによって形成する。

【0048】蓋部109は、一次蓋110と二次蓋111によって構成される。一次蓋110は、 γ 線を遮蔽するステンレス鋼または炭素鋼からなる円盤形状である。また、二次蓋111も、ステンレス鋼製または炭素鋼製の円盤形状であるが、その上面には、中性子遮蔽体としてレジン112、すなわち上述した中性子遮蔽体が封入されている。一次蓋110および二次蓋111は、ステンレス鋼製または炭素鋼製のボルト113によって胴本体101に取り付けられている。さらに、一次蓋110および二次蓋111と胴本体101との間には、それぞれ金属ガスケットが設けられ、内部の密封性を保持している。また、蓋部109の周囲には、レジン114を封入した補助遮蔽体115が設けられている。

【0049】キャスク本体116の両側には、キャスク100を吊り下げるためのトランション117が設けられている。なお、図1では、補助遮蔽体115を設けたものと示したが、キャスク100の搬送時には、補助遮蔽体115を取り外して緩衝体118を取り付ける（図2

参照）。緩衝体118は、ステンレス鋼材によって作成された外筒120内にレッドウッド材などの緩衝材119を組み込んだ構造である。バスケット130は、使用済み核燃料集合体を収容するセル131を構成する69本の角パイプ132からなる。角パイプ132には、A1またはA1合金粉末に中性子吸収性能をもつBまたはB化合物の粉末を添加したアルミニウム複合材またはアルミニウム合金を用いる。また、中性子吸収材としては、ボロンの他にカドミウムを用いることができる。

【0050】上述したキャスク100は、100トン級の大型装置であり、実施の形態1～3で説明した中性子遮蔽材をレジン106、112、114として用いることによって、格段の軽量化と、十分な中性子遮蔽能および耐熱性を保持することができるとともに、内部フィン107を有するような複雑な構成を有する箇所においても、その流動性と可使時間の増大によってレジン106、112、114の鋳込み作業にかかる時間と労力を格段に低減することができる。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項1）およびこれを用いたキャスク（請求項5）によれば、水酸化アルミニウムは、精製時に不純物としてソーダ分が含まれる。このソーダ分が高くなるにしたがって、高温時においても水酸化アルミニウムに含まれる結晶水中の水分の一部を熱分解して放出する傾向が大きくなることに着目し、水酸化アルミニウムの不純物としてのソーダ分を0.1重量%以下とすることによって、150℃程近傍の高温状態に至るまで、水分の一部を熱分解せずに水素含有量を保持することができ、これによって、高温時においても水酸化アルミニウムの水素含有率を減少させずに保持することができる。この結果、中性子遮蔽体としての水酸化アルミニウム本来の役割である難燃性と中性子遮蔽能とを長期間にわたる高温状態においても維持することができる中性子遮蔽体およびキャスクを実現できるという効果を奏する。

【0052】また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項2）およびこれを用いたキャスク（請求項6）によれば、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分が0.07重量%以下の場合、具体的に中性子遮蔽体が長期間150～160℃の状態であっても、水酸化アルミニウムの水分が熱分解による減損量が殆どなく、中性子遮蔽体は、水素含有率を保持することができるため、安定した難燃性と中性子遮蔽能とを維持する中性子遮蔽体およびこれをキャスクを実現できるという効果を奏する。

【0053】また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項3）およびこれを用いたキャスク（請求項7）によれば、一般に用いられる水酸化アルミニウムの高温時に多量の水分放出が起こる熱分解温度は、245～320℃であるが、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度

は、340～390℃であるため、この水酸化マグネシウムを、中性子遮蔽体を組成する耐火材として一部あるいは全部に用いることにより、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高められるので、一層高い温度環境下にあっても耐熱性を保持することができる中性子遮蔽体およびキャスクを実現できるという効果を奏する。

【0054】また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項4）およびこれを用いたキャスク（請求項8）によれば、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤として用いることによって、具体的に20～25ポイズ程度に低粘度とすることができます、作業性を向上させることができるとともに、主剤の水素含有量を増加、具体的に7.5～8.5重量%まで増加することができる。この主剤を用いた場合、硬化剤として柔軟な材料を選択することができ、可使時間に影響を及ぼす硬化剤として、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等、単体または二種以上組み合わせた配合硬化剤を利用することによって、十分な可使時間を確保できとともに、硬化時における活性水素の量を多くすることができ、特に脂環式ポリアミンによって耐熱性をさらに高めた2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を実現することができる。この可使時間は、たとえば、この2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含む中性子遮蔽材を混練する際の温度が30℃近傍である場合には、具体的に3～3.5時間程度の長い可使時間を確保することができ、鉄込み可能時間が増大するとともに、中性子遮蔽材の大量混練を可能とし、大きな中性子遮蔽体の形成時における中断回数を減少させ、中性子遮蔽体の形成にかかる時間と労力を

とを格段に軽減することができる。この結果、中性子遮蔽体の耐熱性、中性子遮蔽能、および鉄込みにかかる作業効率を高めることができる中性子遮蔽体およびキャスクを実現できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に適用されるキャスクの構成を示す斜視図である。

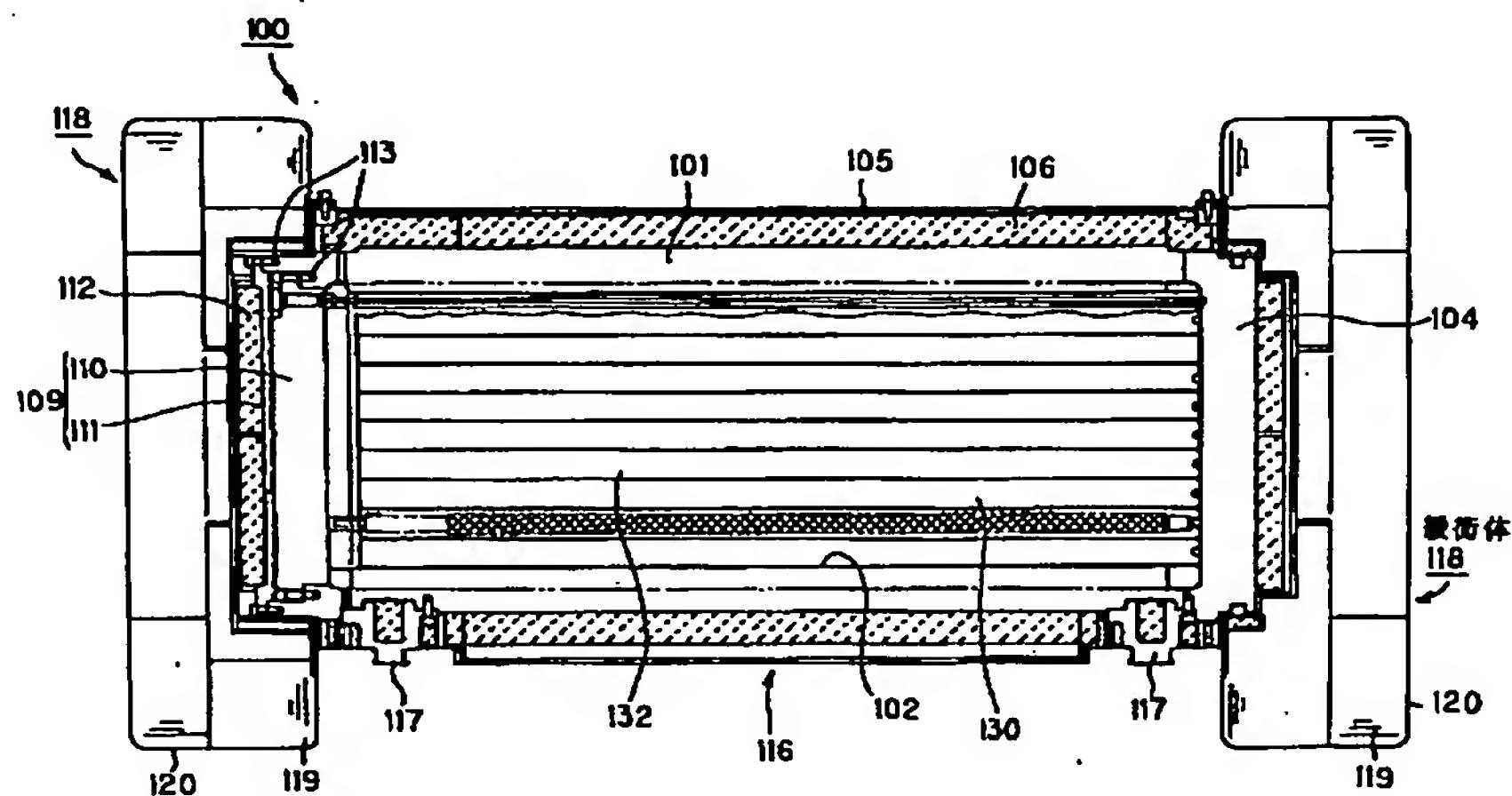
【図2】図1に示したキャスクの構成を示す軸方向断面図である。

【図3】図1に示したキャスクの構成を示す径方向断面図である。

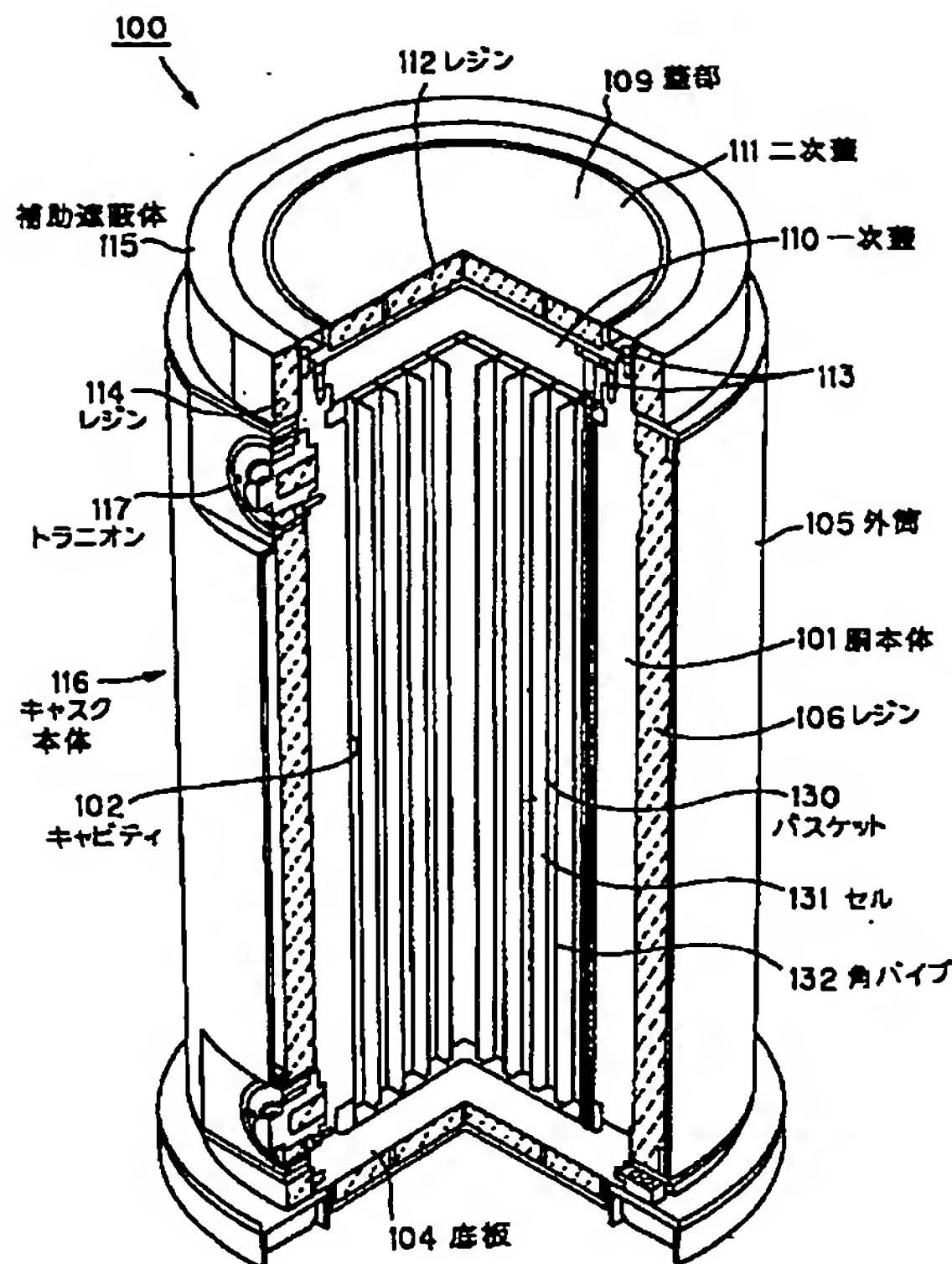
【符号の説明】

- 100 キャスク
- 101 胴本体
- 102 キャビティ
- 104 底板
- 105 外筒
- 106 レジン
- 107 内部フィン
- 108 熱膨張しろ
- 109 蓋部
- 110 一次蓋
- 111 二次蓋
- 115 補助遮蔽体
- 116 キャスク本体
- 117 トランニオン
- 118 緩衝体
- 131 セル
- 132 角パイプ

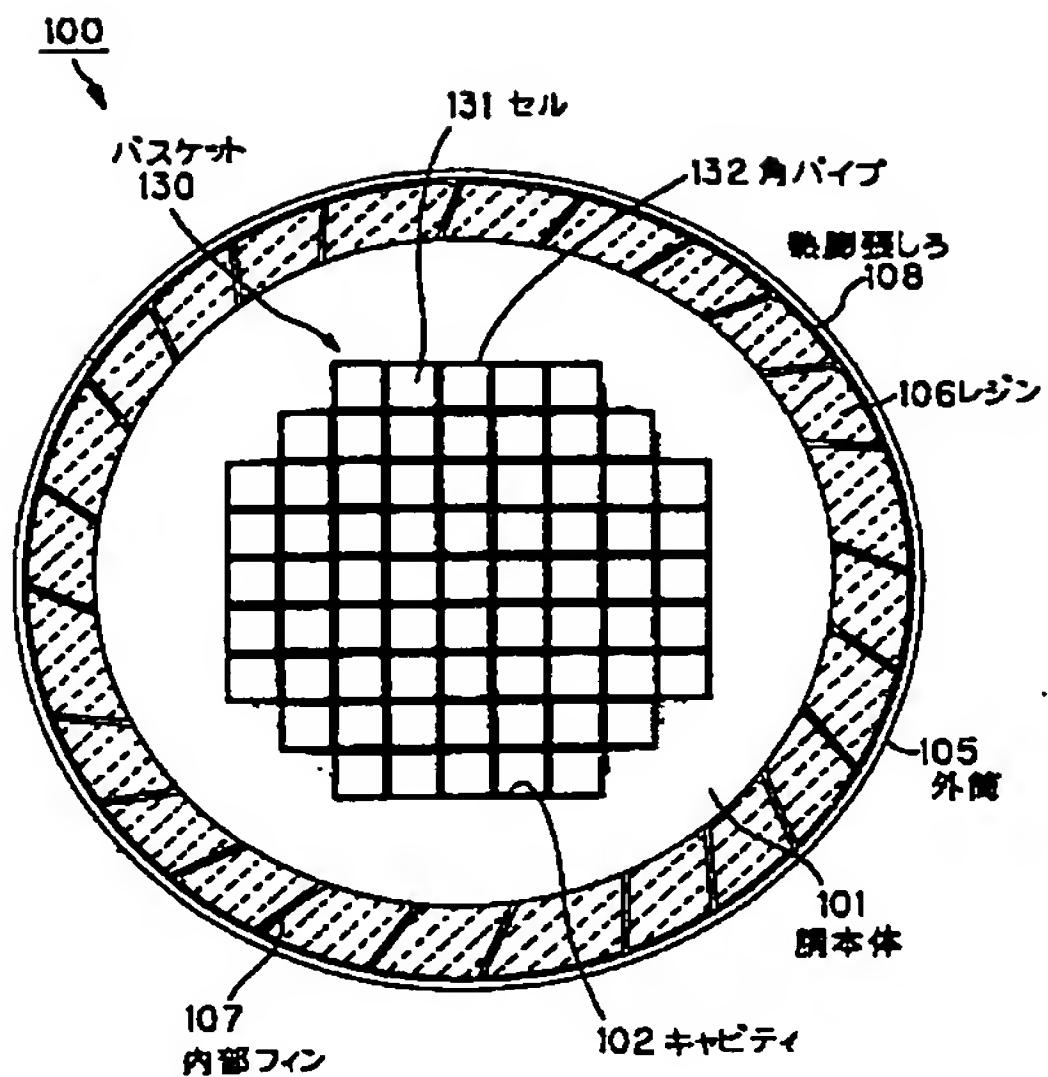
【図2】



【図1】



【図3】



【手続補正書】

【提出日】 平成12年11月10日 (2000. 11. 10)

【手続補正1】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 全文

【補正方法】 変更

【補正内容】

【書類名】 明細書

【発明の名称】 中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスク

【特許請求の範囲】

【請求項1】 長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を添加したエポキシ樹脂を主剤とし、これに脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミンおよびエポキシアダクトを硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含むことを特徴とする中性子遮蔽体。

【請求項2】 長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を添加したエポキシ樹脂を主剤とし、これに脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミンおよびエポキシアダクトを硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキ

シ樹脂と、水酸化アルミニウムまたは水酸化マグネシウムからなる耐火材と、中性子吸収材とを配合したことを特徴とする中性子遮蔽体。

【請求項3】 前記中性子吸収材は、炭化硼素であることを特徴とする請求項1に記載の中性子遮蔽体。

【請求項4】 さらに、前記水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分を0.1重量%以下としたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の中性子遮蔽体。

【請求項5】 さらに、前記水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分を0.07重量%以下としたことを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の中性子遮蔽体。

【請求項6】 上記請求項1～5のいずれか一つに記載した中性子遮蔽体を外周に有し且つ線の遮蔽を行う胴本体のキャビティ内を、中性子吸収能を有する複数の角パイプをキャビティ内に挿入した状態で当該角パイプにより構成される角断面形状のバスケットの外形に合わせた形状にし、前記キャビティ内に挿入したバスケットの各セル内に使用済み核燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたことを特徴とするキャスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスクに関し、特に未硬化状態において粘土を低くし、十分なポットライフ（可使時間）を確保して作業性を向上させることができるとともに、優れた耐熱性、中性子遮蔽能を保持することができる中性子遮蔽体、およびこれを用いて、燃焼を終えた使用済み核燃料集合体を収容、貯蔵するキャスクに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年の原子力産業の発展に伴い、各種の原子力施設、たとえば原子炉、核燃料再処理工場などが各地に建設されているが、これら各種の原子力施設などでは、人体が受ける放射線の量を極力低減し、また放射線による構造材や機器材料が損傷しないようにしなければならない。すなわち、各種の原子力施設などの核燃料あるいは使用済み核燃料から発生する中性子は、エネルギーが高く、強い透過力を有し、他の物質と衝突するとγ線を発生し、人体に重大な障害を与える、また、原子力施設などの各種材料を損傷させることから、この中性子を安全確実に遮蔽することができる中性子遮蔽体の開発が継続して行われている。

【0003】従来、中性子遮蔽体としては、コンクリートが用いられていたが、このコンクリートは、遮蔽壁としては相当の厚みを必要とし、原子力船のように、重量および容積に制限のある原子力施設では不適な中性子遮蔽体であり、中性子遮蔽体の軽量化が望まれていた。

【0004】ここで、中性子のうちの高速中性子は、ほぼ同じ質量の水素元素と衝突することによってエネルギーが吸収され、効果的に減速されるので、水素密度の高い、すなわち水素含有率の高い物質が高速中性子の遮蔽に有効であり、水、パラフィン、ポリエチレンなどを中性子遮蔽体として用いることができる。この水などの液体は、コンクリートに比べて軽量であるが、液体のために取り扱いが限定され、さらには、この水などの液体を収納する容器自体の材質の中性子遮蔽能が問題となる。

【0005】一方、軽量で水素含有率の高く、中性子の減速材としての効果が大きいパラフィン、ポリエチレンなどのポリオレフィン系熱可塑性樹脂、不飽和ポリエステル樹脂などの熱硬化性樹脂、ポリメタクリル酸などそれ自体、これらの混合物、または低速および熱中性子に対して大きな吸収断面積を有することが知られている硼素化合物をこれらに配合した硼素化合物含有パラフィン、硼素化合物含有ポリエチレン、硼素化合物含有ポリメタクリル酸エステルなどによって形成される中性子遮蔽体が提案されている。

【0006】近年では、エポキシ樹脂に耐火材として大量の水酸化アルミニウムと中性子遮蔽材として微量の炭

化硼素とを配合した中性子遮蔽体がある。このエポキシ樹脂は、一般的に主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂が用いられ、主剤としては、エポキシ当量が184～194、分子量が380程度のビスフェノールA型主剤（水素含有量=7.1重量%）が用いられ、硬化剤としては、脂肪族ポリアミン系、脂環式ポリアミン、ポリアミドアミン、エポキサイドアダクト系単体またはこれらの混合物が用いられる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を配合した中性子遮蔽体を形成する場合、エポキシ樹脂主剤、硬化剤、水酸化アルミニウム、および炭化硼素が十分に均質となる中性子遮蔽体とすべく、少量単位で、かつ30分程度の長時間の混練・充填作業を行っていた。この場合、混練された中性子遮蔽体は、硬化剤を含むため、迅速に鉄込まないと固化してしまい、かつ粘性が高いので作業効率が悪いという問題点があった。すなわち、高い粘性であるがゆえに、鉄込み時におけるホース内の流動性が悪く、単位時間当たりの鉄込み量が減少することに加え、少量単位で混練を行うために、大型の中性子遮蔽体を製造する場合、鉄込み中の中断回数が増大し、全体の鉄込み時間に多大の時間と労力とがかかるとなる。

【0008】なお、上述した二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を配合した中性子遮蔽体の可使時間は、混練時間の経過とともに変化するものの、一般に混練時における初期温度が30℃程度のとき2時間程度である。この2時間には、混練・充填作業にかかる時間、たとえば上述した30分の時間も含まれ、粘性の低下による混練・充填作業時間の短縮も要望される。ここで、可使時間とは、中性子遮蔽体が、混練による流動状態から鉄込みに必要な最低限の流動性を残す状態までの時間をいう。

【0009】一方、上述した中性子遮蔽体に含まれる水酸化アルミニウムは、水素含有率が高く、難燃性と中性子遮蔽能とを与えるものであるが、高温環境下に長時間さらされると、水素含有率が徐々に減少するという問題点があった。

【0010】この発明は上記に鑑みてなされたもので、中性子遮蔽体形成時の低粘度化による作業効率の向上を実現するとともに、中性子遮蔽体形成後の長期間にわたる高温環境下においても耐熱性と中性子遮蔽能とを与える水素含有率とを保持することができる中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスクを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1にかかる中性子遮蔽体は、長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を添加したエポキシ樹脂を主剤とし、これに脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪

族ポリアミンおよびエポキシアダクトを硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含むことを特徴とするものである。

【0012】この発明によれば、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤として用いることによって、具体的に20～25ポイズ程度に低粘度とすることができる、作業性を向上させることができるとともに、主剤の水素含有量を増加、具体的に7.5～8.5重量%まで増加することができる。この主剤を用いた場合、硬化剤として柔軟な材料を選択することができ、可使時間に影響を及ぼす硬化剤として、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等、単体または二種以上組み合わせた配合硬化剤を利用することによって、十分な可使時間を確保できるとともに、硬化時における活性水素の量を多くすることができ、特に脂環式ポリアミンによって耐熱性をさらに高めた2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を実現することができる。この可使時間は、たとえば、この2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含む中性子遮蔽材を混練する際の温度が30℃近傍である場合には、具体的に3～3.5時間程度の長い可使時間を確保することができ、鋳込み可能時間が増大するとともに、中性子遮蔽材の大量混練を可能とし、大きな中性子遮蔽体の形成時における中断回数を減少させ、中性子遮蔽体の形成にかかる時間と労力とを格段に軽減することができる。

【0013】また、請求項2にかかる中性子遮蔽体は、長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を添加したエポキシ樹脂を主剤とし、これに脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミンおよびエポキシアダクトを硬化剤とした二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムまたは水酸化マグネシウムを用いた耐火材と、炭化硼素その他の中性子吸収材とを配合したものである。

【0014】水酸化アルミニウムは、脂環式ポリアミンによってその耐熱性が高められ、耐火材として有効に作用する。一方、一般に用いられる水酸化アルミニウムの高温時に多量の水分放出が起こる熱分解温度は、245～320℃であるが、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度は、340～390℃であるため、この水酸化マグネシウムを、中性子遮蔽体を組成する耐火材として一部あるいは全部に用いることにより、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高められる。

【0015】また、請求項3にかかる中性子遮蔽体は、上記中性子遮蔽体において、前記中性子吸収材に、炭化硼素を用いたものである。炭化硼素は、中性子の吸収に好適である。また、請求項4にかかる中性子遮蔽体は、上記中性子遮蔽体において、さらに、前記水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分を0.1重量%以下としたものである。

【0016】この発明によれば、水酸化アルミニウムは、精製時に不純物としてソーダ分が含まれる。このソーダ分が高くなるにしたがって、高温時においても水酸化アルミニウムに含まれる結晶水中の水分の一部を熱分解して放出する傾向が大きくなることに着目し、水酸化アルミニウムの不純物としてのソーダ分を0.1重量%以下とすることによって、150℃近傍の高温状態に至るまで、水分の一部を熱分解せずに水素含有量を保持することができ、これによって、高温時においても水酸化アルミニウムの水素含有率を減少させずに保持することができる。

【0017】また、請求項5にかかる中性子遮蔽体は、上記中性子遮蔽体において、さらに、前記水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分を0.07重量%以下としたものである。

【0018】この発明によれば、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分が0.07重量%以下の場合、具体的に中性子遮蔽体が長期間150～160℃の状態であっても、水酸化アルミニウムの水分が熱分解による減損量が殆どなく、中性子遮蔽体は、水素含有率を保持することができる。

【0019】また、請求項6にかかる中性子遮蔽体は、上記中性子遮蔽体を外周に有し且つ線の遮蔽を行う胴本体のキャビティ内を、中性子吸収能を有する複数の角パイプをキャビティ内に挿入した状態で当該角パイプにより構成される角断面形状のバスケットの外形に合わせた形状にし、前記キャビティ内に挿入したバスケットの各セル内に使用済み核燃料集合体を収容して貯蔵するようにしたものである。

【0020】この発明によれば、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤として用いることによって、具体的に20～25ポイズ程度に低粘度とできることができる、作業性を向上させることができるとともに、主剤の水素含有量を増加、具体的に7.5～8.5重量%まで増加することができる。この主剤を用いた場合、硬化剤として柔軟な材料を選択することができ、かつ可使時間に影響を及ぼす硬化剤として、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等の配合剤を用いること、十分な可使時間を確保できるとともに、硬化時における活性水素の量を多くすることができ、特に脂環式ポリアミンによって耐熱性をさらに高めた2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を実現することができる。この可使時間は、たとえば、この2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含む中性子遮蔽材を混練する際の温度が30℃近傍である場合には、具体的に3～3.5時間程度の長い可使時間を確保することができ、鋳込み可能時間が増大するとともに、中性子遮蔽材の大量混練を可能とし、大きな中性子遮蔽体の形成時における中断回数を減少させ、中性子遮蔽体の形成にかかる時間と労力とを格段に軽減す

ことができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、この発明にかかる中性子遮蔽体およびこれを用いたキャスクの好適な実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

【0022】(実施の形態1) まず、この発明が適用される中性子遮蔽体について説明する。この実施の形態1における中性子遮蔽体は、主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムと、炭化硼素とを混合したものである。二液反応常温硬化型エポキシ樹脂とは、文字どおり、主剤と硬化剤とが混合されることによって常温で硬化するエポキシ樹脂である。水酸化アルミニウムは、大量に配合され、水素含有率が大きく、耐火材と中性子遮蔽材としての機能を有する。また、炭化硼素は、微量に配合され、中性子の減速および吸収材としての機能を有する。

【0023】二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の主剤としては、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を用いる。この反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂は、ビスフェノールA型のエポキシ当量($=184\sim194$)とほぼ同じエポキシ当量を有するが、ビスフェノールA型の粘度($=120$ ポイズ)に比べ粘度が $20\sim25$ ポイズ程度であり、低粘度化を実現する。また、この反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂の水素含有率は 7.6 重量%であり、ビスフェノールA型の水素含有率 7.1 重量%に比べて大きな値をもつ。

【0024】したがって、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の主剤として用いることによって、その低粘度化による常温近傍における作業効率を向上させることができる。すなわち、混練にかかる時間を短縮することによって可使時間を稼ぐことができ、大量混練を可能とすることから、大型の中性子遮蔽体製造時における中断時間が少なくなり、各回の鋳込み作業自体にかかる時間も、その流動性から短縮され、全体的な作業効率を大幅に向上させることができる。

【0025】また、この反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂は、水素含有率が高いため、耐熱性および中性子遮蔽能を一層増大させることができる。

【0026】一方、二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の主剤として、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を用いると、これに対応する二液反応常温硬化型エポキシ樹脂の硬化剤としての選択幅は広がり、耐熱性や硬化反応速度を考慮した材料を柔軟に選択することができる。ここでは、脂環式ポリアミン、ポリアミド脂肪族ポリアミン、およびエポキシアダクトを配合した硬化剤を用いる。具体的な配合割合は、たと

えば脂環式ポリアミンを 30 重量%、ポリアミド脂肪族ポリアミンを 20 重量%、エポキシアダクトを 50 重量%としている。

【0027】この硬化剤の配合選択によって、アミン系の硬化剤との硬化反応速度を遅くすることができ、十分な可使時間を確保することができる。たとえば、混練時における初期温度を 30°C 一定に保つことによって、可使時間を $3\sim3.5$ 時間に向上させることができる。この結果、上述した主剤の低粘度に加えて作業性が一層向上することになる。また、選択された脂環式ポリアミンは、耐熱性が高いため、水酸化アルミニウムの耐火性能を向上させることになる。さらに、この選択された配合の硬化剤の水素含有率は、 12 ± 0.5 重量%を確保することができるため、上述した主剤と相まって高い水素含有率を十分に確保することができる。

【0028】なお、中性子遮蔽体に微量に配合される炭化硼素は、中性子吸収能を有するものであればよく、低速および熱中性子に対して大きな吸収断面積を有する窒化硼素、無水硼酸、硼素鉄、正硼酸、あるいはメタ硼酸などの無機硼素化合物を配合するようにしてもよいが、炭化硼素が特に好ましい。

【0029】(実施の形態2) つぎに、この実施の形態2について説明する。上述した実施の形態1の中性子遮蔽体では、主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムと、炭化硼素とによって構成されているが、この多量に配合される水酸化アルミニウムは、高温環境下において水素含有率が低下することが知られていた。水素含有率の低下は、中性子遮蔽体としての耐熱性および中性子遮蔽能に影響を及ぼす。この水酸化アルミニウムの水素含有率低下は、高温環境下において水酸化アルミニウムの一部の水分が熱分解していることによって生じるものである。

【0030】そこで、高純度の水酸化アルミニウムを中性子遮蔽体に配合したところ、水酸化アルミニウム精製時に含まれるソーダ(Na_2O)分を低くすることによって、熱分解による水酸化アルミニウムの一部の水分放出が高温域まで抑えられる傾向があることを実験的に確認することができた。

【0031】一般に水酸化アルミニウムが水分の放出開始を行う脱水分熱分解温度は、 $245\sim320^{\circ}\text{C}$ であるが、水酸化アルミニウム精製時に含まれるソーダ分を少なくすることによって、この温度領域まで水素含有率を保持できるものと考えられる。

【0032】水酸化アルミニウムの高純度化は、ボーキサイトからの精製時において、十分に時間をかけて水酸化アルミニウムを析出することによって可能である。一般に市販の水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分は、 $0.2\sim0.3$ 重量%であり、この場合、水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度は 120°C 以上であるが、ソーダ分を 0.1 重量%とすることによって水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度を 245°C 以上にまで上げることができる。

ニウムの脱水分熱分解温度を150℃近傍以上まで保持することができた。とくに、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分を0.07重量%以下とすることによって、150～160℃まで脱水による熱重量減損を抑えることができた。このソーダ分が0.07重量%以下の水酸化アルミニウムの精製には、上述した析出時間をかけるほかに、たとえば市販の水酸化アルミニウムを水洗いすることによって容易に得ることができる。

【0033】この高純度の水酸化アルミニウムを中性子遮蔽体に配合することによって、高温環境下においても水素含有率を保持することができる。特に、0.07重量%以下の低ソーダ分とすることによって、150～160℃以上まで水素含有率を保持することができる。この150～160℃までの水素含有率の保持は、後述するキャスクに用いられる中性子遮蔽体として十分なものである。

【0034】なお、この実施の形態2では、高純度の水酸化アルミニウムが配合される中性子遮蔽体を、実施の形態1で説明した中性子遮蔽体に用いられることを前提として説明したが、水酸化アルミニウムが配合される中性子遮蔽体に共通して適用されるものである。

【0035】(実施の形態3) つぎに、実施の形態3について説明する。上述した実施の形態1の中性子遮蔽体では、主剤および硬化剤とからなる二液反応常温硬化型エポキシ樹脂と、水酸化アルミニウムと、炭化硼素とによって構成されているが、一般に水酸化アルミニウムの脱水分熱分解温度は、245～320℃であり、この温度以下の領域における水素含有率を保持したい場合がある。

【0036】ここで、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度は、340～390℃であるため、この水酸化マグネシウムを中性子遮蔽体を組成する耐火材として用いることによって、一層、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高めることができる。

【0037】なお、この実施の形態3では、実施の形態1で説明した中性子遮蔽体に配合される水酸化アルミニウムに代えて水酸化マグネシウムを用いることを前提として説明したが、この水酸化マグネシウムの配合は、中性子遮蔽体に共通して適用されるものである。

【0038】さらに、この実施の形態3では、水酸化アルミニウムに代えて水酸化マグネシウムを適用するものとして説明したが、水酸化アルミニウムの一部を水酸化マグネシウムに代えるようにしてもよい。

【0039】(実施の形態4) つぎに、実施の形態4について説明する。この実施の形態4では、上述した実施の形態1～3で説明した中性子遮蔽体をキャスクの中性子遮蔽体として適用するものである。なお、キャスクは、燃焼を終えた使用済み核燃料集合体を収容、貯蔵する容器である。核燃料サイクルの終期にあって燃焼を終え使用できなくなった核燃料集合体を、使用済み核燃料

という。使用済み核燃料は、FPなど高放射能物質を含むので熱的に冷却する必要があるから、原子力発電所の冷却ピットで所定期間(3～6ヶ月間)冷却される。その後、遮蔽容器であるキャスクに収納され、トラックや船舶等で再処理施設に搬送、貯蔵される。

【0040】図1は、キャスクを示す斜視図である。図2は、図1に示したキャスクの軸方向断面図である。図3は、図1に示したキャスクの径方向断面図である。キャスク100は、胴本体101のキャビティ102内面をバスケット130の外周形状に合わせて機械加工したものである。キャビティ102内面の機械加工は、専用の加工装置によってフライス等によって加工する。胴本体101および底板104は、γ線遮蔽機能を有する炭素鋼製の鍛造品である。なお、炭素鋼の代わりにステンレス鋼を用いることもできる。胴本体101と底板104は、溶接によって結合する。また、耐圧容器としての密閉性能を確保するため、一次蓋110と胴本体101との間には金属ガスケットを設けておく。

【0041】胴本体101と外筒105との間には、水素を多く含有する高分子材料であって中性子遮蔽機能を有するレジン106、すなわち上述した中性子遮蔽体が充填されている。また、胴本体101と外筒105との間には、熱伝導を行う複数の銅製内部フイン107が溶接されており、レジン106は、内部フイン107によって形成される空間に流動状態で図示しないパイプ等を介して注入され、冷却固化される。なお、内部フイン107は、放熱を均一に行うため、熱量の多い部分に高い密度で設けるようにするのが好ましい。また、レジン106と外筒105との間には、数mmの熱膨張しろ108が設けられる。熱膨張しろ108は、ホットメルト接着剤等にヒーターを埋め込んだ消失型を外筒105内面に配し、レジン106を注入固化した後、ヒーターを加熱して溶融排出することによって形成する。

【0042】蓋部109は、一次蓋110と二次蓋111によって構成される。一次蓋110は、γ線を遮蔽するステンレス鋼または炭素鋼からなる円盤形状である。また、二次蓋111も、ステンレス鋼製または炭素鋼製の円盤形状であるが、その上面には、中性子遮蔽体としてレジン112、すなわち上述した中性子遮蔽体が封入されている。一次蓋110および二次蓋111は、ステンレス鋼製または炭素鋼製のボルト113によって胴本体101に取り付けられている。さらに、一次蓋110および二次蓋111と胴本体101との間には、それぞれ金属ガスケットが設けられ、内部の密封性を保持している。また、蓋部109の周囲には、レジン114を封入した補助遮蔽体115が設けられている。

【0043】キャスク本体116の両側には、キャスク100を吊り下げるためのトラニオン117が設けられている。なお、図1では、補助遮蔽体115を設けたものを示したが、キャスク100の搬送時には、補助遮蔽

体115を取り外して緩衝体118を取り付ける（図2参照）。緩衝体118は、ステンレス鋼材によって作成された外筒120内にレッドウッド材などの緩衝材119を組み込んだ構造である。バスケット130は、使用済み核燃料集合体を収容するセル131を構成する69本の角パイプ132からなる。角パイプ132には、A1またはA1合金粉末に中性子吸収性能をもつBまたはB化合物の粉末を添加したアルミニウム複合材またはアルミニウム合金を用いる。また、中性子吸収材としては、ボロンの他にカドミウムを用いることができる。

【0044】上述したキャスク100は、100トン級の大型装置であり、実施の形態1～3で説明した中性子遮蔽材をレジン106, 112, 114として用いることによって、格段の軽量化と、十分な中性子遮蔽能および耐熱性を保持することができるとともに、内部フィン107を有するような複雑な構成を有する箇所においても、その流動性と可使時間の増大によってレジン106, 112, 114の鋳込み作業にかかる時間と労力を格段に低減することができる。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項1）およびこれを用いたキャスク（請求項6）によれば、反応性希釈剤入り長鎖脂肪族グリシジルエーテル系エポキシ樹脂を主剤として用いることによって、具体的に20～25ポイズ程度に低粘度とすることことができ、作業性を向上させることができるとともに、主剤の水素含有量を増加、具体的に7.5～8.5重量%まで増加することができる。この主剤を用いた場合、硬化剤として柔軟な材料を選択することができ、可使時間に影響を及ぼす硬化剤として、脂環式ポリアミン、ポリアミドポリアミン、脂肪族ポリアミンおよびエポキサイドアダクト等、単体または二種以上組み合わせた配合硬化剤を利用することによって、十分な可使時間を確保できとともに、硬化時における活性水素の量を多くすることができ、特に脂環式ポリアミンによって耐熱性をさらに高めた2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を実現することができる。この可使時間は、たとえば、この2液反応常温硬化型エポキシ樹脂を含む中性子遮蔽材を混練する際の温度が30℃近傍である場合には、具体的に3～3.5時間程度の長い可使時間を確保することができ、鋳込み可能時間が増大するとともに、中性子遮蔽材の大量混練を可能とし、大きな中性子遮蔽体の形成時における中断回数を減少させ、中性子遮蔽体の形成にかかる時間と労力を格段に軽減することができる。この結果、中性子遮蔽体の耐熱性、中性子遮蔽能、および鋳込みにかかる作業効率を高めることができる中性子遮蔽体およびキャスクを実現できるという効果を奏する。

【0046】また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項2）では、水酸化アルミニウムを配合することにより高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を高められ

る。また、一般に用いられる水酸化アルミニウムの高温時に多量の水分放出が起こる熱分解温度は、245～320℃であるが、水酸化マグネシウムの脱水分熱分解温度は、340～390℃であるため、この水酸化マグネシウムを、中性子遮蔽体を組成する耐火材として一部あるいは全部に用いることにより、高温環境下における中性子遮蔽体の耐熱性を更に高められるので、一層高い温度環境下にあっても耐熱性を保持することができる。

【0047】また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項3）では、中性子宮主体として炭化硼素を用いることで、好ましい中性子吸収性能を得ることができる。また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項4）では、水酸化アルミニウムは、精製時に不純物としてソーダ分が含まれる。このソーダ分が高くなるにしたがって、高温時においても水酸化アルミニウムに含まれる結晶水中の水分の一部を熱分解して放出する傾向が大きくなることに着目し、水酸化アルミニウムの不純物としてのソーダ分を0.1重量%以下とすることによって、150℃程近傍の高温状態に至るまで、水分の一部を熱分解せずに水素含有量を保持することができ、これによって、高温時においても水酸化アルミニウムの水素含有率を減少させずに保持することができる。この結果、中性子遮蔽体としての水酸化アルミニウム本来の役割である難燃性と中性子遮蔽能とを長期間にわたる高温状態においても維持することができる中性子遮蔽体を実現できるという効果を奏する。

【0048】また、この発明にかかる中性子遮蔽体（請求項5）では、水酸化アルミニウムに含まれるソーダ分が0.07重量%以下の場合、具体的に中性子遮蔽体が長期間150～160℃の状態であっても、水酸化アルミニウムの水分が熱分解による減損量が殆どなく、中性子遮蔽体は、水素含有率を保持することができるため、安定した難燃性と中性子遮蔽能とを維持する中性子遮蔽体を実現できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に適用されるキャスクの構成を示す斜視図である。

【図2】図1に示したキャスクの構成を示す軸方向断面図である。

【図3】図1に示したキャスクの構成を示す径方向断面図である。

【符号の説明】

- 100 キャスク
- 101 胴本体
- 102 キャビティ
- 104 底板
- 105 外筒
- 106 レジン
- 107 内部フィン
- 108 熱膨張しろ

109 蓋部
110 一次蓋
111 二次蓋
115 補助遮蔽体
116 キャスク本体

117 トランニオン
118 緩衝体
131 セル
132 角パイプ